

## 酸性雨の問題

岡山大学資源生物科学研究所

木村和義

最近、地球の環境問題がテレビや新聞等で話題にならない日はない。特に ① CO<sub>2</sub> 増加による地球の温暖化、② フロンガスによるオゾン層の破壊、③ 酸性雨による自然環境、生態系への影響が問題になっている。これらの問題は先進国首脳会議（サミット）でも主要課題の一つで、国際的に検討される問題になった。

本稿で取り上げる「酸性雨」も生態系や自然環境に種々の影響が現われ始めているので、最近多くの人々に関心をもたれるようになった。雨は自然や人間に「恵み」を与えるものと考えられていたが、しかしその雨が酸性になって、悪影響を与えるものとなってきている。特に欧州北西部、米国、カナダなどでは酸性雨により湖沼の魚が絶滅したり、森林の立枯れ、生育障害、貴重な文化的建造物、石像などの美術品が溶けだす被害が発生し、深刻な状態にある。

### 1 酸性雨とは

酸性雨という用語は、最近になって使われ始めたものではない。今から 100 年余前の 1872 年、英国の生態学者 R. A. Smith が論文の中で“Acid Rain”という言葉を使っている。1870 年代の産業革命当時の英国の工業都市で大気が汚れ、その地域に降る霧雨が強い酸性を示すことを指摘した。当時は酸性雨は局地的な問題として取り扱われていたが、今日では酸性雨の問題は長期的、広域的で国境を越えた国際問題となってきた。

雨水の酸性化は、上述のように大気の汚染が主な原因であるが、汚染されていない雨水は大気中の CO<sub>2</sub> を溶解しているため、弱い酸性を示して pH 5.6 である。そのため pH 5.6 より低い値の雨が酸性雨とよばれている。

### 2 雨水の酸性化の状況

ヨーロッパ北西部、アメリカ東部では、1950 年代の雨水が pH 5～6 であったものが最近では 4.0～4.5 に低下している。日本でも 1940～50 年代雨水の pH は 5.5 前後であったが、近年 4～5 の低い値が観測され、酸性化が著しいことを示している。しばしば食用酢と同じ pH 3 前後の酸性度の強い雨も観測されている。

瀬戸内地方では、第 2 次大戦前後に神戸海洋気象台で測定された例がある。それによると 1940～1950 年代では pH 5.5 前後のきれいな雨であったが、1960 年ごろからの経済成長にともなって

急激に酸性化が進行している。倉敷市のわれわれの研究室で測定した例では、1972年の年平均pH 4.9、1976年pH 4.7、1982年pH 4.4、1988年pH 4.2であり、年々酸性化が進んでいる(図1)。また1989年の一雨ごとの雨水のpH値をみると、降る雨のほとんどはpH 5.6以下の酸性雨である。その値は季節、日によってかなり変動しているが、約60%がpH 4.5以下の雨である。(図2)。

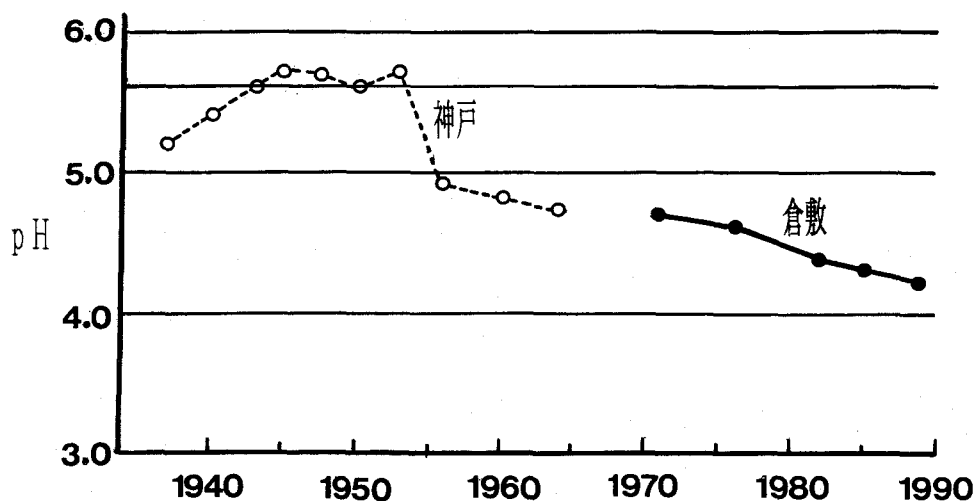


図1 瀬戸内地方における雨水の酸性化

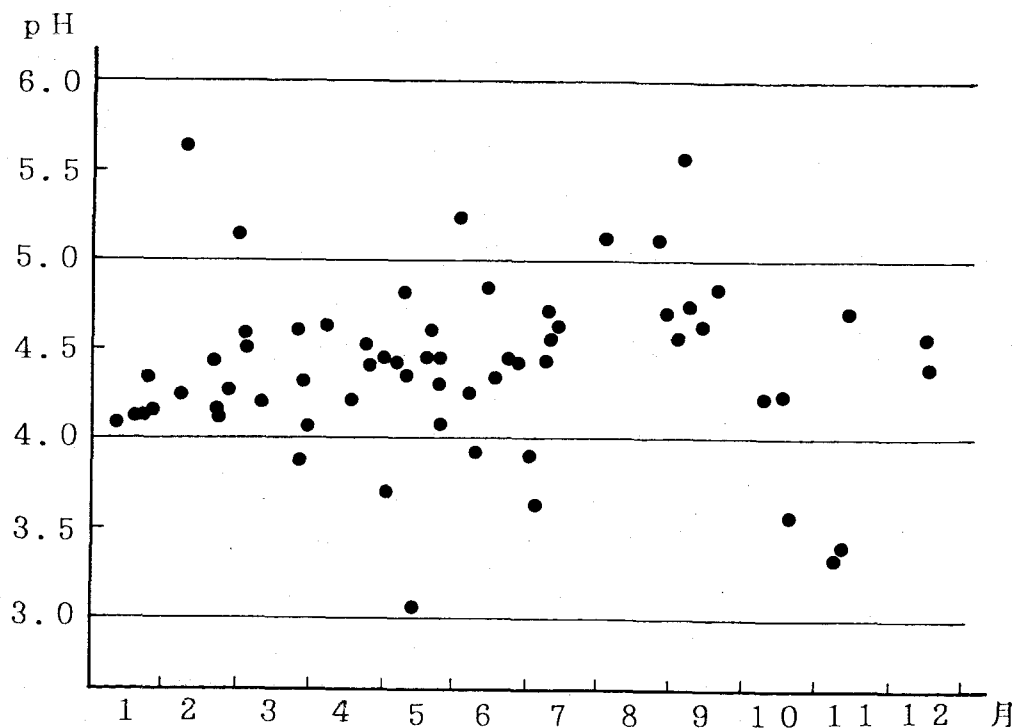


図2 一雨ごとのpHの測定値(倉敷市、岡大資生研、1989)

### 3 酸性雨の原因

雨水の酸性度の増大は化石燃料の燃焼による硫黄酸化物、窒素酸化物の大気への大量放出が主な原因である。それらの汚染物質は工場の排煙、自動車、航空機、船舶などの排気ガスの中に多く含まれている。排出された硫黄酸化物、窒素酸化物が亜硫酸、亜硝酸となり、大気中の水分に溶けこんで硫酸、硝酸になり、雨、雪、霧の形になって地上に降りそそぐのである。しかし接地気層に近づくと、地上から舞い上がった「ちり」に含まれる種々の物質（Ca, Na, Mg, K, NH<sub>4</sub> など）で緩衝され、酸性度が弱くなる傾向がある。そのため「ちり」の多い都会では酸性度がそれほど強くなく、むしろ周辺郊外の比較的空気のきれいな地域とみられるところで酸性度の強い雨が降ることがしばしばみられる。

今日、酸性雨は酸性化物質の発生源の周辺だけでなく、遠く数百キロ、数千キロの地域まで影響を与えている。一昔前大気汚染はある工業地帯に限られた地域の問題として取り扱われ、煙突を高くして汚染の濃度を低くすることで解決する方法をとってきた。しかし高煙突化は汚染を広域化する結果となった。そのため発生源の国だけでなく、周辺の国への影響も大きく、酸性雨が世界各国で国際問題としてクローズアップされているわけである。北欧のノルウェー、スウェーデンでは西ドイツ、イギリスの影響、カナダではアメリカの影響が問題となっている。最近日本海側の雨水に多量の硫酸イオンが見出されており、大陸の工業化による汚染が影響していると考えられている。

### 4 酸性雨の影響

酸性雨は地球上広い地域に降下し、森林土壌、河川、湖沼を酸性化して、水生生物や生態系全体に悪影響を与えていることが指摘されている。また、イギリス、ローマでは、大理石の彫像や建造物が溶けだすなどの被害がみられる。特に北欧、北米では近年被害が顕在化し、森林枯渇や湖沼の酸性化が著しいことが報告されている。

森林への影響： 西ドイツ、オランダでは森林面積の50%が、また米国、カナダなど北米大陸では36,000 km<sup>2</sup>の森林、中国の重慶、貴陽、我眉山などの南西部の森林の50%で酸性雨による生育被害、立枯被害を受けているといわれている。特にモミ、マツ、トウヒ、ブナ、ナラの樹木が被害を受けやすい。日本においても、スギ、ケヤキの酸性雨によると思われる異常落葉や枯損が大木のみにかかることが報告されているが、この枯損原因が酸性雨と直接関係があるのかどうか十分解明されていない。また森林では植被効果と呼ばれる影響があり、植被があると植被がない場合よりも種々の物質が降下し土壌へ影響を与える。これは降水のない時期にエアロゾルなどの乾性降下物が植物の葉や茎に付着するので、樹間透過雨や樹間流去水に含まれる硫酸量などが多くなり大気汚染のひどい地域では、4～5倍に達している。さらに現在降っている雨水のpH値では、茎葉は直接的にそれほど障害を受けないことから、酸性雨による被害は土壌を含めた森林生

態系を通しての間接的被害と考えられている。

湖沼への影響： ノルウェー、スウェーデンの南部の湖沼の調査によると 1950 年以降、湖沼の pH が低下し、現在では半分以上の湖でマスが生存しなくなった。同様のことはアメリカ、カナダでも報告されている。湖沼の酸性化により、Al イオンなどの重金属の溶解量が増し、湖水の生態に影響を与える。このような湖水、河川の酸性化は植物プランクトン、特に緑藻類の減少を引き起こし、これに伴って動物プランクトン（ミジンコなど）も減少する。また、魚の餌であるエビは pH 6 以下、巻貝類は 5.5 以下、二枚貝類は 5.0 以下で生存しなくなる。それに伴ってそれらを餌とするマスやその他の魚類も生存できなくなるといわれている。

土壌への影響： 酸性雨による森林植物の被害は、酸性化による土壌の悪化が原因であることが指摘されるようになった。酸性雨に含まれる酸性物質は土壌に侵入して Ca と Mg イオンを下層へ溶脱させる。このため長年月の間には土壌の酸性化を促進する。このことは土壌溶液中へ Al イオンの溶解量が増大し、植物の生育障害をひきおこすことになる。

また土壌の酸性化は細菌の減少を引き起こし、有機物の分解が激減する。このことは硝化能の低下、すなわち養分の無機化を減少させる。その他根粒菌の活動阻害、ミミズや小動物の激減をひきおこす。以上のような土壌中の生物活動の低下は、そこに生育している植物にも悪影響を与えることになる。

日本における酸性雨の影響： 現在、日本でも酸性雨の強度は欧米と類似であるのにその被害が少ない。ただアサガオ、ツツジ、ペチュニアなどの花卉の脱色（図 3）やスギの先枯れ、コンクリートのひさしにつらが下がる例（図 4）などが報告されている程度である。このような被害の顕著でない理由として、日本の土壌は欧米に比べて緩衝能力が高いこと、工場などの汚染物質の排出を規制していることが挙げられている。例えば SO<sub>x</sub> の年間排出量は、日本では 126 万トン、米国 2500 万トン、英国 350 万トン、中国 1500 万トンであり、アメリカでは日本の 20 倍、英国では 3 倍、中国では 10 倍の排出量である。特に中国では石炭、石油などの硫黄分の多い低質原料を使っており、工業地域では pH 3.7 ～ 3.8 の酸性雨が降っていると報告されている。

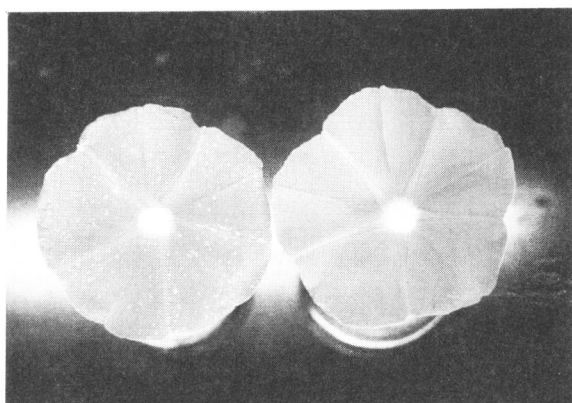
上述のように日本の土壌は、欧米よりも酸性雨に強いと云われているが、環境庁が作成した「酸性雨の土壌への影響予察図」によると瀬戸内海沿岸や内海の島では、日本の中では酸性雨に弱い土壌が広く分布していることが指摘されている。このまま現在の酸性雨が続くとすれば真っ先に影響が出てくる可能性がある。

## 5 酸性雨に対する認識

現在、わが国の酸性雨に対する問題意識は低い。欧米諸国に比べて被害が顕著でないからである。現在の pH 4 ～ 5 の降水は短期間では生態系や地上環境に急激に大きな影響を与えないが、長年月の間には多大の影響を及ぼすことになるだろう。その影響が目に見えるようになった段階で

は、取り返しのつかない状態になっている可能性がある。

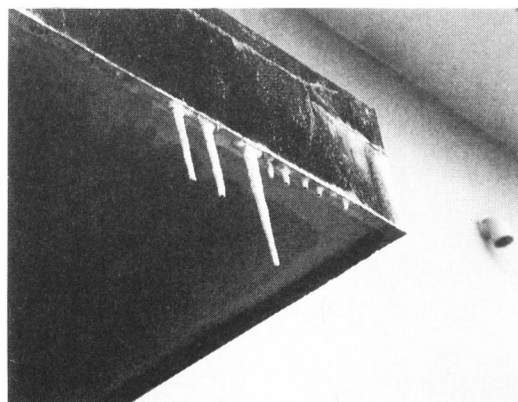
酸性雨の恐ろしさは、一過性のものではなく、累積的、遅効的、広範囲に引き起こされることである。近年環境庁をはじめ、各地方公共研究機関で酸性雨の調査を行なって解析が行なわれている。しかしわが国における土壌、生態系に対する酸性雨の影響についての研究は歴史が浅く、不明の点が多いのが実状である。今後種々の分野の研究者が協力してこの問題に取り組む必要がある。酸性雨対策にはエネルギー使用量の削減、エネルギー使用効率の改善、脱硫装置等の開発と普及、クリーンエネルギーの開発などが考えられるが、重要なのは経済開発と環境管理をいつもセットで考える姿勢である。環境（生態）管理の問題を政治、経済、社会の問題の中に常に導入する必要がある。さらに酸性雨の発生原因に対する責任自責の希薄性にも問題がある。酸性雨は人間活動の結果であるので、その解決は国、企業だけの問題でなく、我々個人としても被害者であると同時に加害者の側面ももっている事実を認識すべきである。この際物質的豊かさの追求だけでなく、自然の豊かさについて真剣に考え直してみる必要があるだろう。



（裏表紙：カラー写真）

図3 酸性雨によるアサガオ花弁の脱色

左 降雨を受けた花弁  
右 ガラス室内の花弁



（裏表紙：カラー写真）

図4 酸性雨によると思われるひさしのつらら